

SYNERGETIK

Komplexe Systeme

Selbstorganisation

Gerd Schuster
(jun-okt2021)

Überblick zum Vortrag

- Synergetik: wer was warum
- Systemdynamik: Pfade Bifurkationen Chaos
- Selbstorganisation
- Synergetik: bottom-up-Ansatz, Beispiele
- Synergetik: top-down-Ansatz, Beispiele
- Synergetik: phänomenologisch, konzeptionell
- Synergetik: Haken vs. Weidlich

Entstehung

- 1969 von Hermann Haken (* 1927) begründet
 - Studium der Mathematik und Physik
 - Ab 1960 Professor für Theoretische Physik (Stuttgart)
- ‚Laserpionier‘: Deutung als Selbstorganisation
- 3 ‚Lehrbücher‘ zur Synergetik
 - Synergetics (auch dt.: Synergetik – eine Einführung)
 - Advanced Synergetics
 - Information & Self-Organization
- Anwendung auf
 - Mustererkennung (synergetischer Computer)
 - Gehirndynamik (u.a. Bewegungskoordination: Haken-Kelso-Bunz-Modell, ‚spiking neural networks‘)
 - Entscheidungsfindung (individuell & gesellschaftlich)
 - Autonome (Nano-)Roboter
 - Stadtentwicklung („Synergetic Cities“)

Bedeutung „Synergetik“

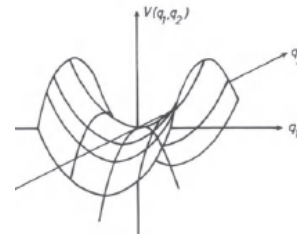
- „Lehre vom Zusammenwirken“ (vgl. „Synergie“) - Kunstwort aus dem Griechischen
- Betrachtung & Analyse komplexer Systeme
 - Viele Bestandteile (Subsysteme)
 - Fern vom thermischen Gleichgewicht
 - Nichtlineare Wechselwirkungen
 - > Selbstorganisation/ Selbststrukturierung
- Physik, Chemie, Biologie, Ökonomie, Gesellschaft

Verbindungen

- (irreversible) Thermodynamik (Entropie)
- Statistische Mechanik (Boltzmann-Entropie)
- Informationstheorie (Shannon-Information)
- Allgemeine Systemtheorie (Bertalanffy)
- Kybernetik (Wiener: Regelkreis/ negat. Feedback, Steinbuch: Lernmatrix, Ashby: A.-Gesetz)
- Stochastische Prozesse
- System Dynamics/ Theorie dynam. Systeme
- Chaos-/ Katastrophen-/ Bifurkationstheorie
- Fraktale

SYSTEMDYNAMIK allgemein

- Trajektorie (Pfad) im Phasen-Raum
(Phasendiagramm -> Beispiele: folgende Seiten)
- Stabilität versus Instabilität
- Stabil: Fixpunkte („Senken“), Grenzzyklen
- Metastabil (teilw. stabil): Sattelpunkte
- Instabil: „Quellen“, „seltsame Attraktoren“
- Bifurkationen (Gabelungen)
- Übergang ins Chaos (Unordnung)



Phasendiagramme 1

Fixpunkt:

- Knoten
(links)
bzw.
- Fokus
(rechts)

oben:
Phasen-
diagramm

unten:
zeitlicher
Verlauf

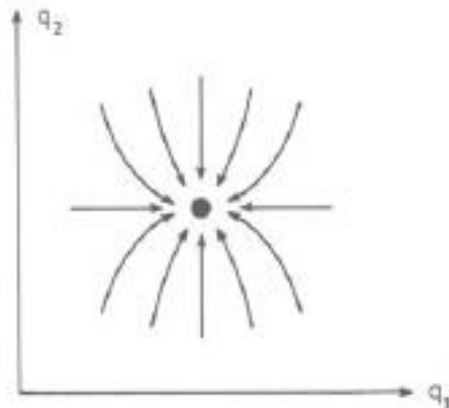


Fig. 1.12.5. Trajectories ending at a (stable) node. If time is reversed, the trajectories start from that node and the node is now unstable

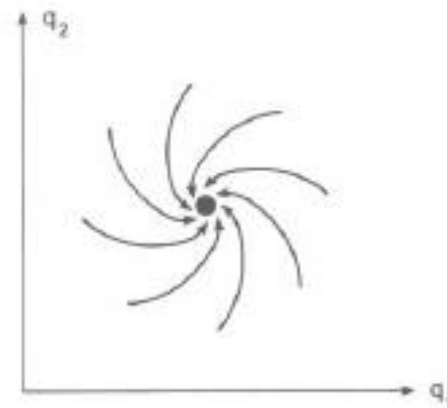


Fig. 1.12.6. Trajectories ending at a (stable) focus. If time is reversed the trajectories start from that focus and it has become an unstable focus

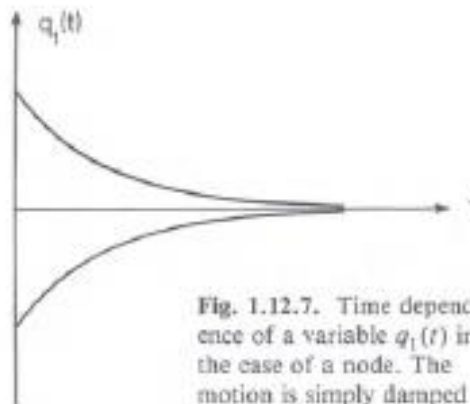


Fig. 1.12.7. Time dependence of a variable $q_1(t)$ in the case of a node. The motion is simply damped

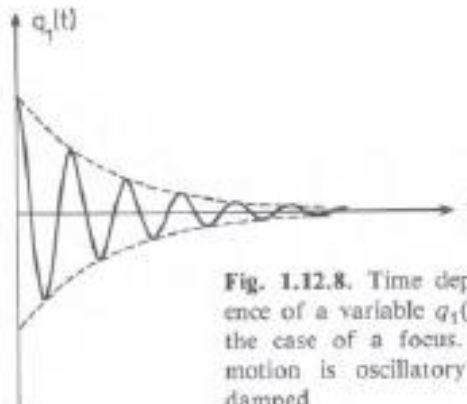


Fig. 1.12.8. Time dependence of a variable $q_1(t)$ in the case of a focus. The motion is oscillatory but damped

Phasendiagramme 2

- Grenzzyklus:

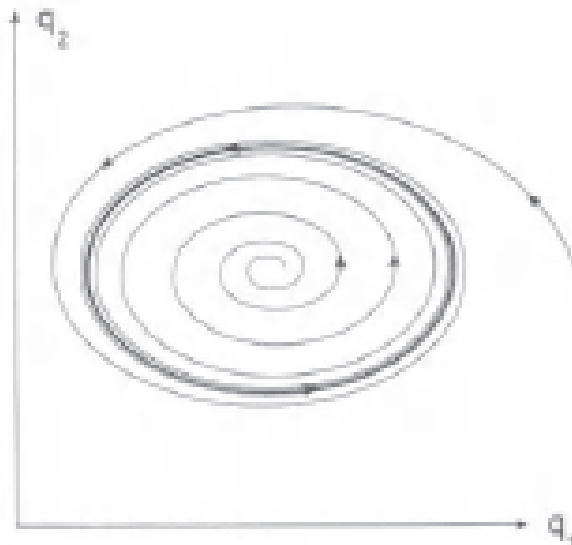


Fig. 1.12.9. Stable limit cycle in a plane. The trajectories approach the limit cycle from the outside and inside of the limit cycle

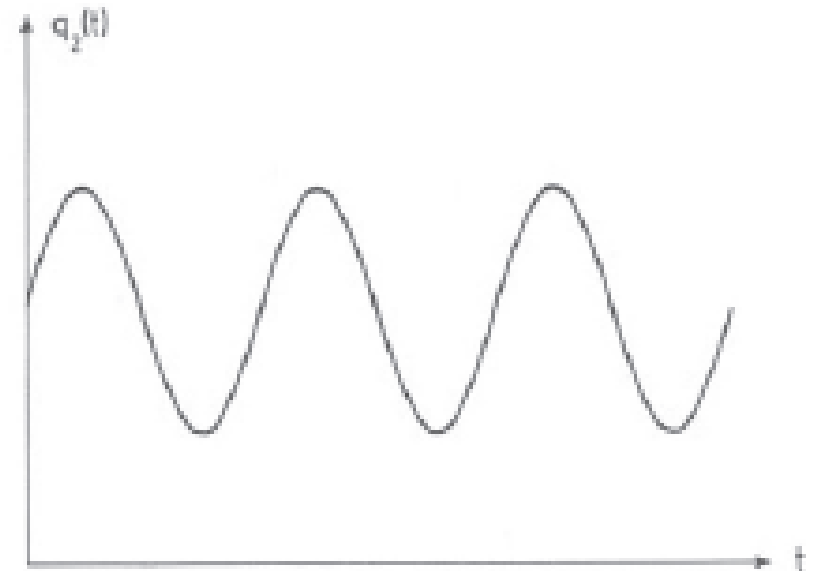


Fig. 1.12.10. Temporal behavior of a variable, e.g., $q_2(t)$, in the case of a limit cycle

Phasendiagramme 3

- Torus

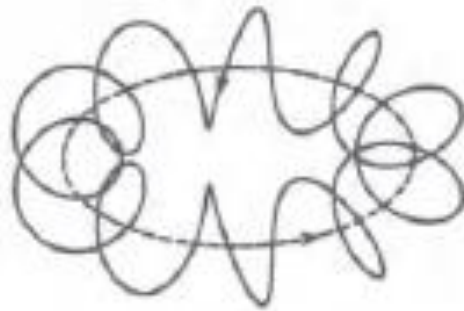
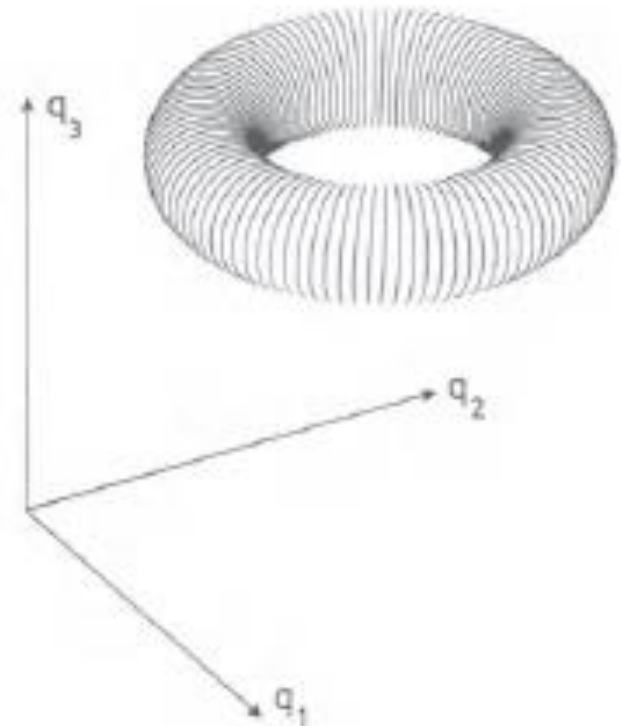


Fig. 1.12.13. Limit cycle in three dimensions

Fig. 1.12.14. Two-dimensional torus in three-dimensional space



Bifurkationen 1

- 1 Knoten $\rightarrow$ 2 Knoten („Senken“) (& 1 „Quelle“)

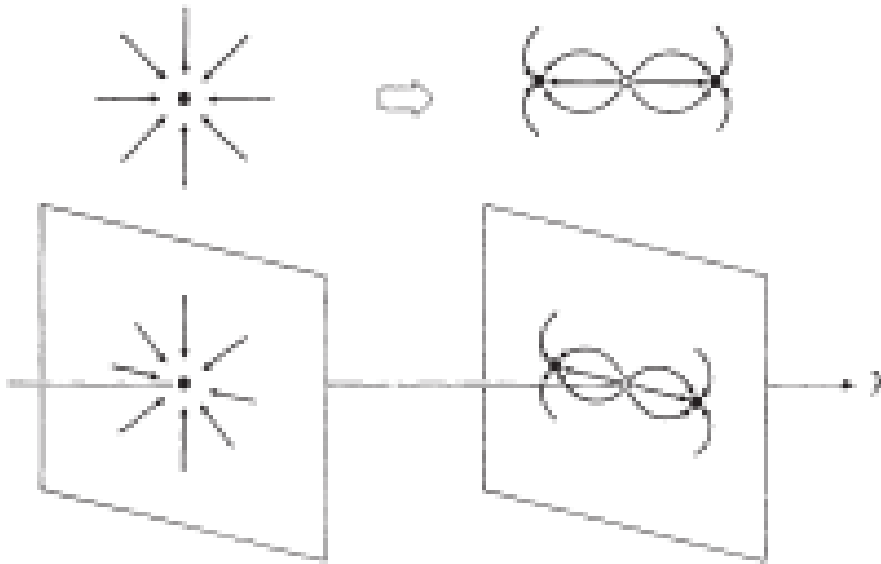


Fig. 1.14.1. Two ways of representing the bifurcation of a stable node into two stable nodes. In the upper part the two flow diagrams are plotted in the same plane. In the lower part the control parameter λ is plotted along the abscissa and the planes representing the flow diagrams corresponding to the upper part of the figure are shown on individual planes perpendicular to the λ axis

Bifurkation 1a

- 1 Knoten $\rightarrow$ 2 Knoten („Senken“) (& 1 „Quelle“)

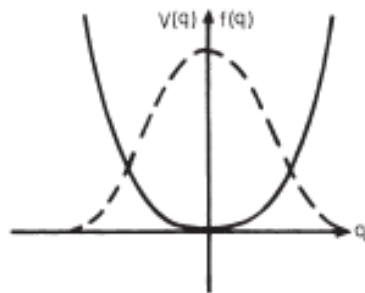


Fig. 1.15.1. The distribution function $f(q)$ (---) belonging to a node. The solid line represents the potential in which the "particle" with coordinate q moves

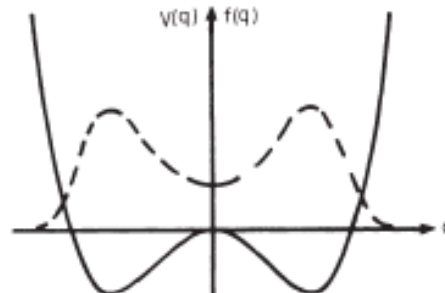


Fig. 1.15.2. The distribution function $f(q)$ (---) belonging to two nodes and a saddle point (in one dimension). The solid line represents the potential in which the "particle" moves

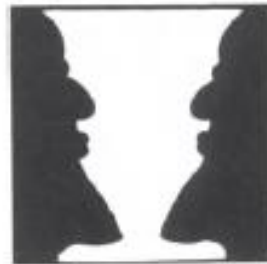
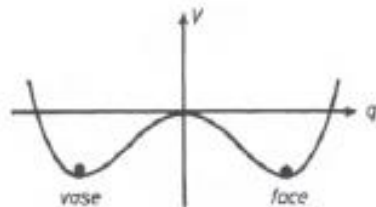


Fig. 6.12. Broken symmetry in visual perception. When focussing the attention to the center and interpreting it as foreground of a picture, a vase is seen, otherwise two faces

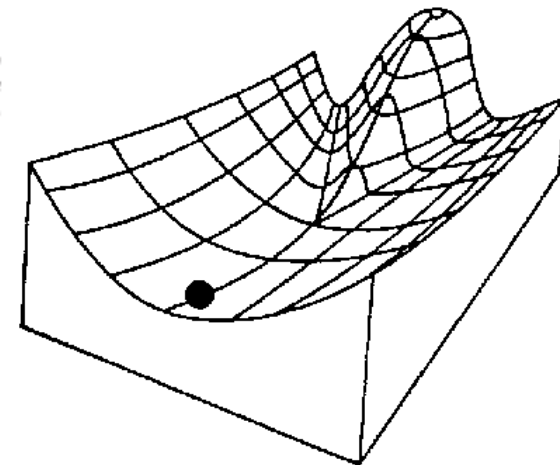


Abbildung 12: Mechanische Veranschaulichung des Phänomens der Bifurkation.

aus: Haken – Synergetics (2004)

Quelle: http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~x99/Diplom/node33_t.html

Bifurkationen 2

- Fokus $\rightarrow$ Grenzzyklus (Hopf-Bifurkation)

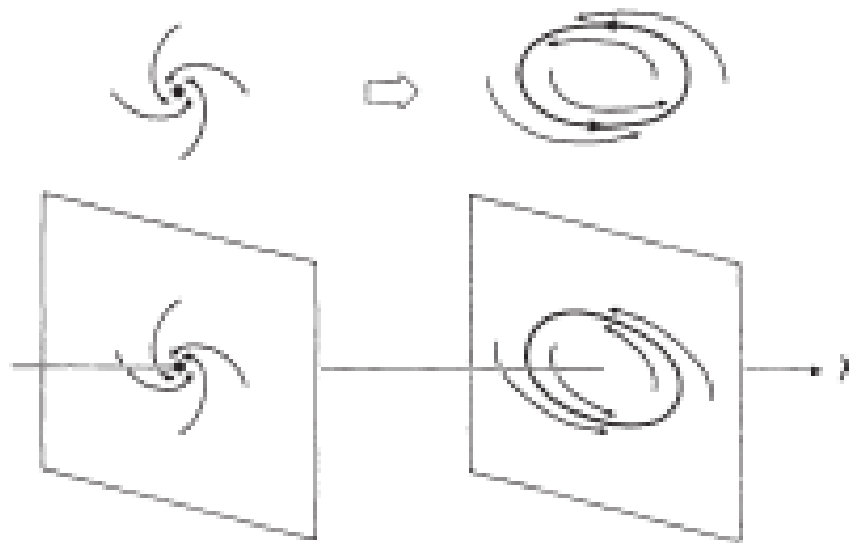


Fig. 1.14.2. Two ways of representing the bifurcation of a stable focus into a stable limit cycle. The representation technique is the same as in Fig. 1.14.1

Bifurkationen 3

- Grenzzvklus $\rightarrow$ 2 Grenzzvklen

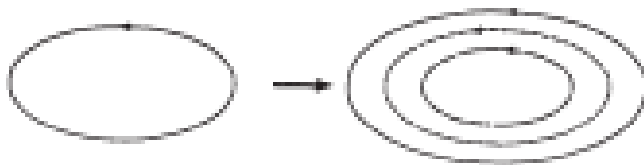


Fig. 1.14.3. Bifurcation of a limit cycle in the plane into two limit cycles in the same plane. The old limit cycle, which has become unstable, is still represented as a dashed line on the right-hand side of this figure

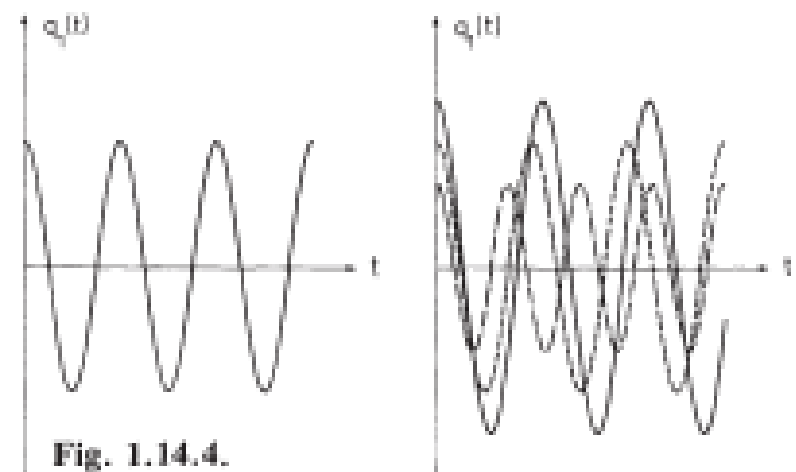


Fig. 1.14.4. The temporal behavior of a variable $q_1(t)$ of the limit cycle before bifurcation (*left-hand side*) and after bifurcation (*right-hand side*). The variables q_1 belonging to the new stable limit cycles are shown as solid and dashed-dotted lines, respectively. The unstable limit cycle is represented by a dashed line

Bifurkationen 4

- Grenzzzyklus -> Grenzzzyklus auf Torus

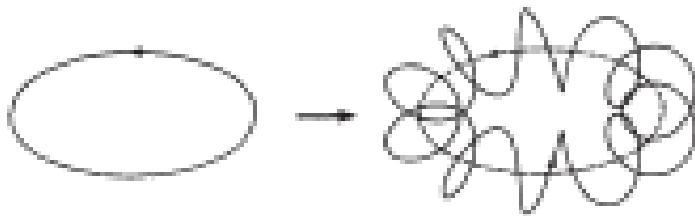


Fig. 1.14.5. Bifurcation of a limit cycle in two dimensions to a limit cycle in three dimensions. Depending on the frequency of rotation along and perpendicular to the dashed line, closed or unclosed orbits may evolve. In the case of a closed orbit, again a new limit cycle arises, whereas in the other case the trajectory fills a torus

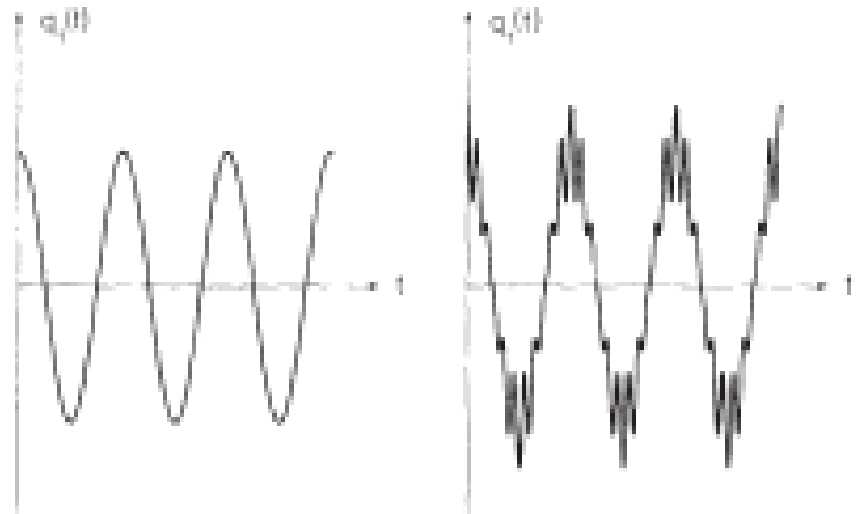


Fig. 1.14.6. The temporal evolution of $q_1(t)$ of a limit cycle before bifurcation (*left-hand side*) and after bifurcation (*right-hand side*)

Chaos 1

- Logistische Abbildung $x_{n+1} = a x_n (1 - x_n)$

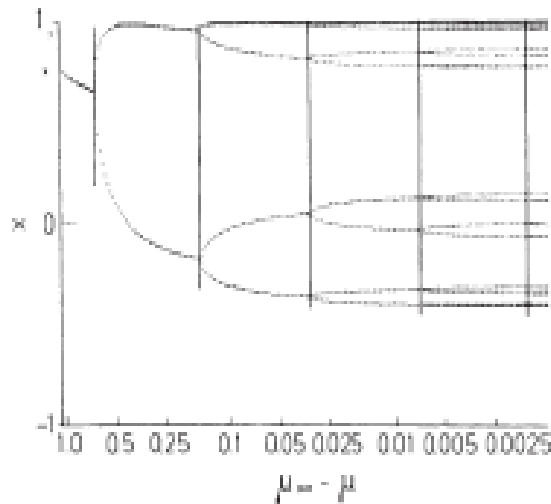


Fig. 12.20 The set of possible values of x_n ($n \rightarrow \infty$) (ordinate) versus control parameter $\mu_n - \mu$ (abscissa) on a logarithmic scale. Here the logistic equation is linearly transformed into the equation $x_{n+1} = 1 - \mu x_n^2$. μ_n corresponds to the critical value α_n [P. Collet, J. P. Eckmann: in *Progress in Physics*, Vol. 1, ed. by A. Jaffe, D. Ruelle (Birkhäuser, Boston 1980)]

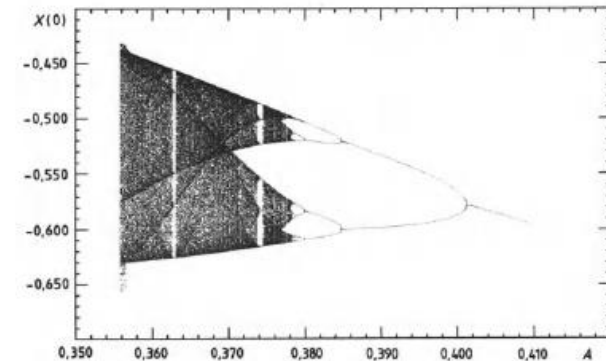


Abb. 9.10 Entsprechender Weg zum Chaos über Periodenverdopplung am Beispiel des Helmholtz-Oszillators

Aus: Haken – Synergetics (2004)

bzw. Haken, Wunderlin - Die Selbststrukturierung der Materie (1991)

Komplexe Systeme - Selbstorganisation

- Offen (fern vom thermodynamischen Gleichgewicht / d.h. Austausch von Energie, Materie, Information mit Umgebung)
- Dynamische Entwicklung in Zeit und/ oder Raum (System von Differential- / Differenzengleichungen)
- Nichtlineare Wirkungen der Variablen (im einfachsten Fall: Sprungfunktionen)
- Wechselwirkungen zwischen Variablen (im einfachsten Fall: kooperativ, bzw. antagonistisch)
- Große Zahl an Teilsystemen („Atome“, „Agenten“)
- > Stabilität/ Instabilität/ Phasenübergang
- > Muster-/ Strukturbildung

Selbststrukturierung / Selbstorganisation

- Beispiel Laser bzw. Benard-Zellen
- Räumlich-zeitlich stabile Struktur eines offenen Systems (im ‚Widerspruch‘ zur Th.Dyn.)
 - Strukturbildung nicht trotz, sondern wegen Zufuhr von Energie (und Materie)
 - ‚Kreativität‘ <- Bildung neuer Strukturen & Formen
 - ‚Komplexität‘
 - Sehr sehr viele Einzelteile/ Subsysteme
 - Nichtlineare Wechselwirkungen („Rückkopplungen“)

Beispiele für Selbstorganisation

- Im thermischen Gleichgewicht
 - Keine Selbststrukturierung/ Selbstorganisation
- Fern vom thermischen Gleichgewicht
 - Laser (Hakens Paradigma der Synergetik)
 - Benard-, Taylor-Konvektion
 - Brusselator/ Oregonator (Reaktions-Diffusions-Systeme)
 - Geburts- & Todesprozesse/ Räuber-Beute-Systeme
 - Evolution (Hyperzyklus von M.Eigen)/ Morphogenese
 - Kelso-Handbewegungs-Experiment (Haken-Kelso-Bunz)
 - Mustererkennung – neuronales Netz (Haken-Modell)

Konzept: Phasenübergang 1

- Qualitative Änderung im makroskopischen Maßstab („neue Struktur“)
- Im thermodynamischen Gleichgewicht
 - Wechsel des Aggregatzustands (gasförmig – flüssig - fest)
 - Ferromagnetismus
 - Supraleitung
- Fern vom thermischen Gleichgewicht
 - Benard-Konvektion/ Taylor-Konvektion
 - Laser
 - Brusselator/ Oregonator (chem. Reaktions-Diffus.-Syst.)

SYNERGETIK: Bottom-up Ansatz

= von den Teil(ch)en zum Ganzen

- **Dynamik der mikro- bzw. mesoskopischen Ebene**
(i.a. vieldimensionales System von DGL (Differentialgleichungen))
- **Analyse der stationären Lösungen** („Gleichgewichts-/Strukturen“)
- **Stabilitätsuntersuchung** (durch Linearisierung)
- **„Treiben“ des Systems durch Veränderung der Kontrollparameter**
- **Ermittlung der Instabilitätspunkte/ -schwellen**
(kritische Werte der Kontrollparameter)
- **„Auftauchen“ der Ordnungsparameter und Selbstorganisation des neuen stationären Zustands**
- **Dynamik der makroskopischen Ebene**
(niedrigdimensional infolge nur weniger Ordnungsparameter)

Math. Darstellungen der Systeme

- Stochastischer Prozess (Brownsche Bewegung)

$$m \frac{d\mathbf{v}(\mathbf{t})}{dt} = -\lambda \mathbf{v}(\mathbf{t}) + \boldsymbol{\eta}(t) \text{ (Kraft = Reibung + Fluktuation)}$$

- Langevin-Gleichung (zeitl. Dynamik) bzw.
verallg. Ginzburg-Landau-Gl. (räuml.-zeitl. Dynamik)
 - (p)DGL: Dynamik = determinist. Kraft + Fluktuationen
- Master-Gleichung
 - DGL: Dynamik = Rate hinein – Rate hinaus
- Fokker-Planck-Gleichung
 - partielle DGL: Dynamik = Drift + Diffusion

Selbstorganisation: Beispiel Laser



atoms

Fig. 1.28. Laser active atoms embedded in a crystal of a laser setup

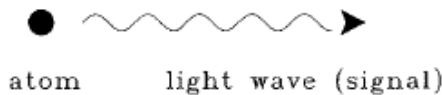


Fig. 1.29. An excited atom emits a light wave (signal)

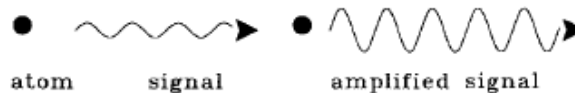


Fig. 1.30. When the light wave hits an excited atom it may cause the atom to amplify the original light wave



Fig. 1.31. A cascade of amplifying processes

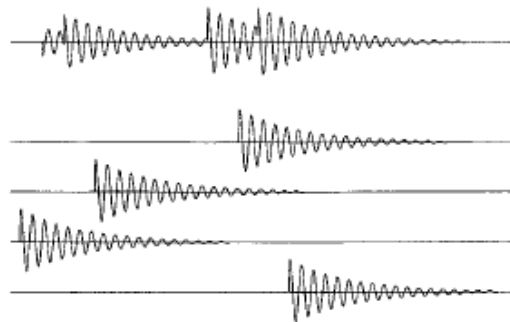


Fig. 1.32. The incoherent superposition of amplified light waves produces a still rather irregular light emission

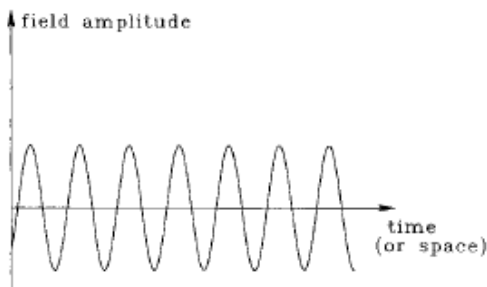


Fig. 1.33. In the laser the field amplitude is represented by a sinusoidal wave with a practically stable amplitude and only small phase fluctuations

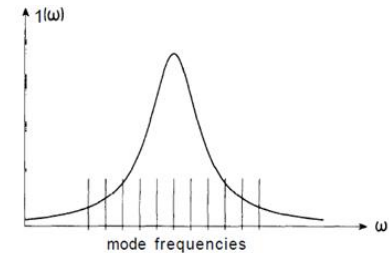


Fig. 1.4. Example for the positions of mode frequencies in the optical region. In general many frequencies come to lie within an emission line.

Entstehung des Laserlichts
und Konkurrenz der Moden

aus:
Haken:
Information &
Self-Organization
(3.A.2006) -
sowie:
Light & Matter II
(1985)

Selbstorganisation: Beispiel Laser 2

(aus Portugali – Self-Organization & the City (S.55f) (2000))

The interpretation of synergetics starts with Einstein's observation that when an excited atom emits a light wave, this light wave may cause other excited atoms to deliver their energy to it so that it is enhanced in its intensity. In the laser, initially quite a number of atoms emit their light waves independently of each other and with somewhat different wave lengths. Each of these might get support from the other excited atoms. In this way a kind of a Darwinian competition among the light waves for the energy resources of the excited atoms begins. This competition is won by an individual light wave which grows fastest. The winning light wave describes and prescribes the order in the laser and it is thus called the *order parameter*. It dominates the movement of the individual electrons as if by enslaving them and forcing them to move in its own rhythm. In the language of synergetics this is called the *slaving principle*.

The transition from the state of a lamp with its microscopically chaotic light field and the state of the laser with its well-ordered light field is quite sharp and occurs at a critical strength of the power input by the current into the laser. Thus the change of a single, rather unspecific, parameter, the power input in the case of the laser, may cause a systemic phase transition. This parameter is termed the *control parameter*.

Beispiel Benard-Konvektion

Kontrollparameter

Temperaturgradient (unten – oben)

Kritische Fluktuation/
Wettbewerb der Moden

Verschiedene Rollen (s. Abb. – auch ‚doppelstöckig‘ möglich) & links oder rechts herum – u.U. abhängig von Anfangsbedingungen (bei kreisförmigen Gefäßen auch in Aufsicht hexagonale Muster mit Multistabilität)

Ordnungsparameter

Amplitude der ‚Gewinnermode‘

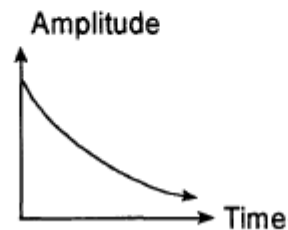
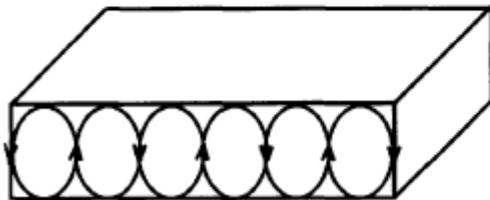
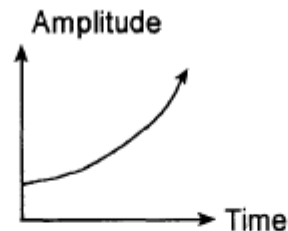
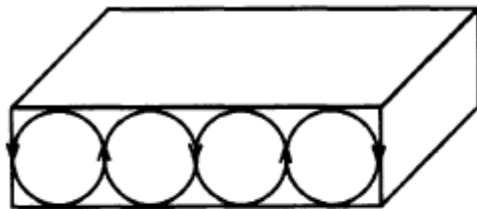


Fig. 3.4. *Left:* two different roll configurations in a fluid. *Right:* The behavior of the amplitudes of these configurations in the course of time. While in one case the amplitude increases, in the other it decays

Beispiel Benard-Konvektion 2

The case study here is the Bénard instabilities. As we've seen, as the temperature difference between the heated layer at the bottom and the cool layer on top exceeds a critical value, quite suddenly a macroscopic motion of the liquid becomes visible (Fig. 3.1 above). The temperature difference thus controls the macroscopic behavior of the system and in the language of synergetics it is called the *control parameter*.

As the control parameter grows, the liquid starts its motion, rolls are created, their rolling speed increases, and the initial resting state becomes unstable. *Instability* thus shows up. Slightly above the instability point, the system may undergo quite different collective motions of roll configurations (Fig. 3.4). At the beginning the amplitudes of these roll configurations are small and independent of each other. When they grow further, they start to influence each other – in some cases they compete until one configuration suppresses the others, in others, they co-exist and even stabilize each other. “The amplitudes of the growing configurations are called *order parameters*. They describe ... the macroscopic structure of the system” (Haken 1996, p. 39).

The order parameters not only determine the macroscopic structure of the system, but also govern the space-time behavior of its parts. By winning the competition the order parameters enslave the many parts of the system to their specific space-time motion. This is a basic theorem of synergetics and it is called the *slaving principle*.

In some cases, for example when the fluid is enclosed in a circular vessel, all directions for roll systems are then possible, each being governed by a specific order parameter. Which pattern will eventually be realized, depends on initial conditions. It is as if the system internally stores many patterns. This repertoire of patterns is not stored in a static fashion, but is dynamically generated anew each time. This property is termed *multistability*.

Aus:
Portugali –
Self-Organization
& the City
(S.57f) (2000)

Beispiel Benard- Konvektion 3

Der ‚Startvorteil‘
‚schlägt am Ende
durch‘ – bei
Konkurrenz ‚der mit
dem besten Start‘.

Aus:

Haken –

Synergetic Computers &
Cognition (2.A.2004)

(auch in:

Haken & Haken-Krell -
Erfolgsgeheimnisse der
Wahrnehmung (1992)

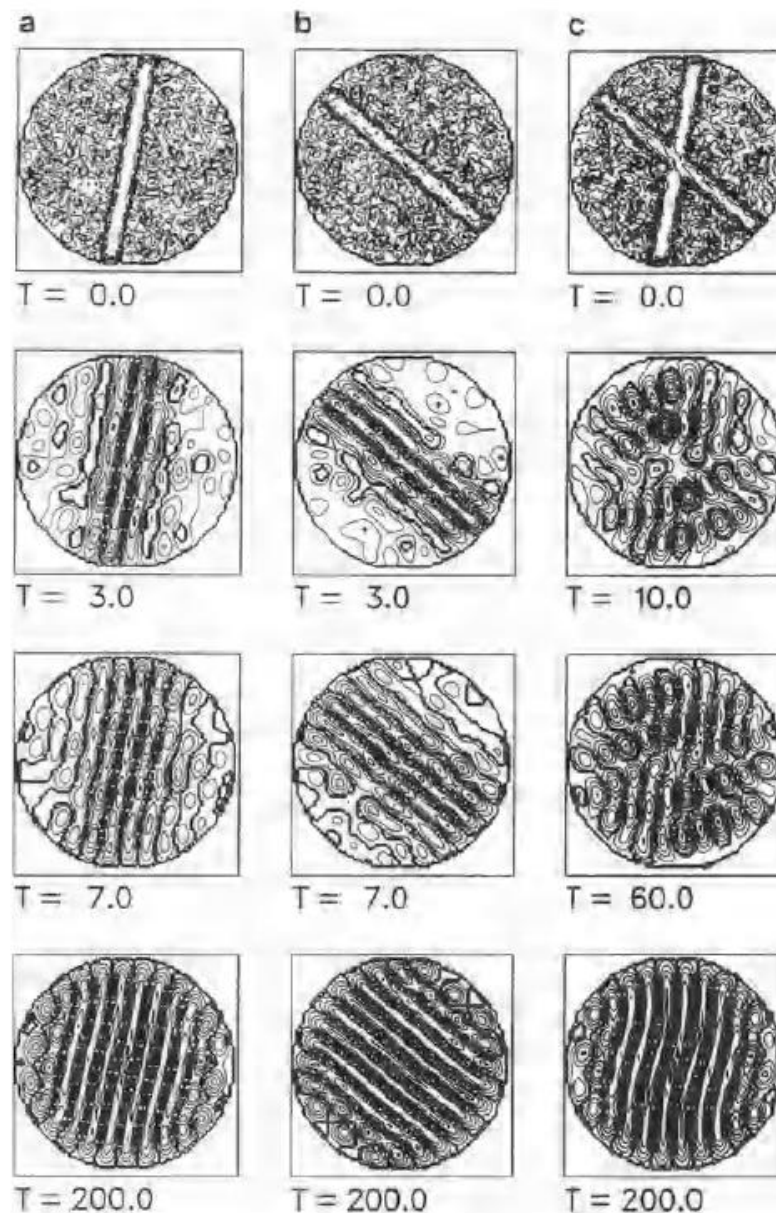


Fig. 4.3a–c. Computer simulation of the development of rolls in a liquid heated from below (top view of the vessel). (a) The first frame ($t = 0$) shows the initial orientation of the upwelling, which develops in the course of time into a specific final roll state. (b) Same as (a) but with a different orientation of the initially prescribed upwelling of the fluid. (c) The initial state consists of a superposition of two lines of upwelling fluid with different strengths. Eventually only one pattern survives to win the competition. (Bestehorn and Haken, unpublished)

Beispiel Benard- Konvektion 3a

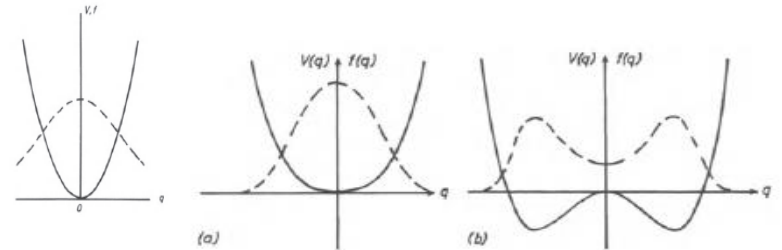
Aus:
Haken –
Synergetic
Computers
& Cognition
(2.A.2004)

When a liquid in a vessel is heated from below, the heat is transported by heat conduction on a microscopic level and no macroscopic motion can be seen initially. When the temperature difference between the lower and upper surfaces of the liquid exceeds a critical value, suddenly a macroscopic motion can be observed, e.g. in the form of rolls as shown in Fig. 4.1. The fluid rises at specific positions, cools down at the upper surface, and then sinks down at different positions. Perhaps surprisingly, a well-ordered pattern emerges. Such rolls may also develop in a circular vessel. Figure 4.2 shows a computer simulation based on methods of synergetics which will be outlined below. For the time being, it is sufficient to observe the following: When an initially random pattern is given, the fluid organizes itself after a while into a specific roll pattern with a special orientation of the rolls. When a different random initial pattern is given, the rolls will develop again but now with a different orientation.

The system thus shows *multistability*. What causes the different orientations of the rolls can be made clear by the following computer calculation. We set the temperature difference somewhat beyond the critical temperature difference and superimpose an upwelling fluid motion along a line on an otherwise random velocity field as is shown in Fig. 4.3 upper left. The time evolution of the motion in the fluid is shown in the left column from top to bottom. In the next run, a new initial state is prescribed with a different orientation of the line along which upwelling occurs (Fig. 4.3 middle column, upper part). The time evolution is shown in that column. A final state is reached with a roll system which points along the initially prescribed preferred direction. Finally, an initial state was prepared in which two “lines” of upwelling fluid were superimposed on the random velocity field, one “line” being 10% stronger than the other (right column, upper part). Interestingly, the fluid does not make any compromise but develops into a roll system which corresponds to the stronger of the original lines.

Besondere Konzepte der Synergetik

- Am Instabilitätspunkt:
 - Kritisches Langsamerwerden
 - Kritische Fluktuationen
 - Trennung der Zeitskalen (schnell / langsam)
 - ‚Adiabatische Elimination der schnell relaxierenden Variablen‘ = Versklavungsprinzip
 - > Ordnungsparameter (Reduzierung der Dimensionen)
 - Alternativ: verallgemeinerte Ginzburg-Landau-Theorie der Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge
- Systemstabilisierung: Hervortreten des/ der Ordnungsparameter & zirkuläre Kausalität



Versklavung & zirkuläre Kausalität

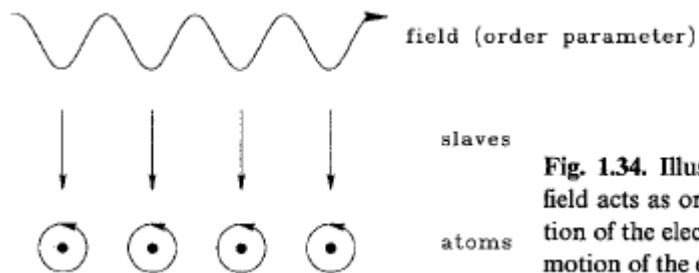


Fig. 1.34. Illustration of the slaving principle. The field acts as order parameter and prescribes the motion of the electrons in the atoms. In other words the motion of the electrons becomes slave to the field

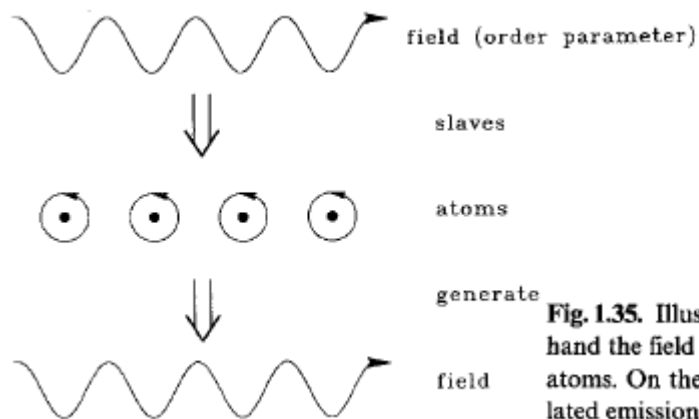


Fig. 1.35. Illustration of circular causality. On the one hand the field acting as order parameter enslaves the atoms. On the other hand the atoms by their stimulated emission generate the field

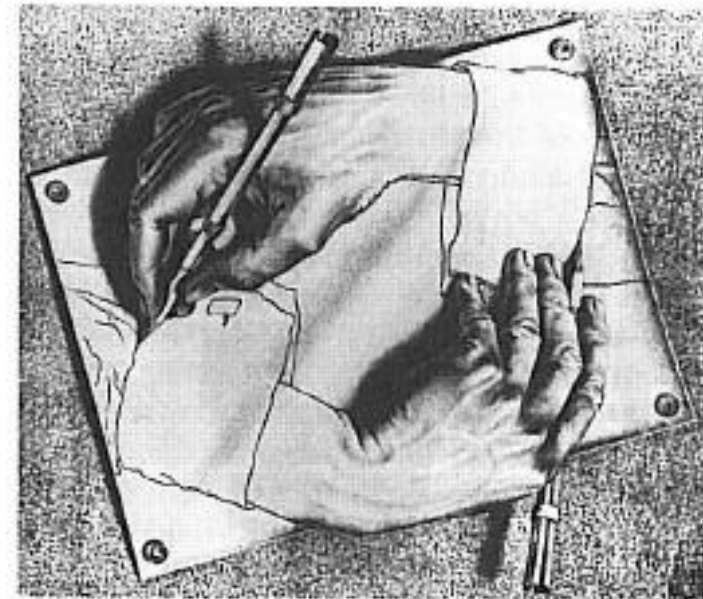


Abb. 1.4: Dieses von Escher stammende Bild zweier Hände, die:

Aus: Haken –
Erfolgsgeheimnisse (1983)

Aus: Haken – Synergetics (2004)

Lösung:

1. Adiabatische Elimination
2. Iterativ (Integro-Differentialgleichung)

Kontroll-/ Ordnungsparameter

	Kontrollparameter	Ordnungsparameter
Definition	‚treiben‘ das System auf der Mikro-Ebene	beschreiben (& ‚versklaven‘) das System auf der Makro-Ebene
Laser	‚Pumpenergie‘	Feldamplitude der ‚Gewinnerlichtwelle‘
Benard-Konvektion	Temperaturgradient	Amplitude der ‚Gewinnerrolle‘
Kippbilder	Aufmerksamkeit	Muster 1 & Muster 2
Kelso-Experiment	Frequenz der Fingerbewegung	Relative Phase (parallel & anti-parallel)
Gesichts-erkennung	(verraushtes/ partielles) ‚Testgesicht‘	Gelernte Gesichter 1, ..., n
Gehirn	Neuromodulatoren	Gedanken
Entscheidungsfindung	Informationen ... Erfahrungen	Alternativen 1, ..., n
Gesellschaft	Kommunikation .. Propaganda	(neue) Ideen .. Ideologien

SYNERGETIK: Top-down Ansatz

(= von Makro-Daten zur Mikro-Dynamik)

- Umfangreiche Daten
(1. – 4. Momente/ Korrelationen)
- Verallgemeinertes MIP (Maximum-
Informations(entropie)-Prinzip (Jaynes))
 - Unvoreingenommene Schätzung aufgrund der Daten
(nichts darüber hinaus)
 - D.h. alle nach den vorliegenden Daten möglichen
Zustände sind gleich wahrscheinlich
 - ‚Aussehen‘ des Systems mit solchen ‚Datenschatten‘
- -> Wahrscheinlichkeitsverteilung
- -> Langevin-Gleichung/ Fokker-Planck-Gleichung

Top-down-Beispiel: Laser

- Messdaten: Intensität + deren Varianz

$$f_1 = \langle 2\kappa B^* B \rangle ,$$

$$f_2 = \langle 4\kappa^2 B^{*2} B^2 \rangle .$$

- Anwendung des MIP ergibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Intensität

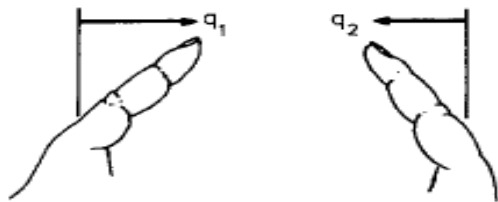
$$p(B, B^*) = N \exp(-\alpha |B|^2 - \beta |B|^4) .$$

- Verallgemeinerungen & Erweiterungen

(aus: Haken: Information & Self-Organization (3.A.2006))

Top-down-Beispiel: Handbewegung (Haken-Kelso-Bunz Modell)

- Messdaten: Fingerausschläge q_1 , q_2 , incl. Momente (bis zum 4. Moment/ Korrelation)



$$q_1 = r_1 \cos(\omega t + \phi_1)$$

$$q_2 = r_2 \cos(\omega t + \phi_2)$$

- Anwendung des MIP ergibt Langevin-Gleichung (und auch die Fokker-Planck-Gleichung)

$$\dot{\phi} = a \sin \phi + b \sin(2\phi) + F(t) \quad \phi_2 - \phi_1 = \phi$$

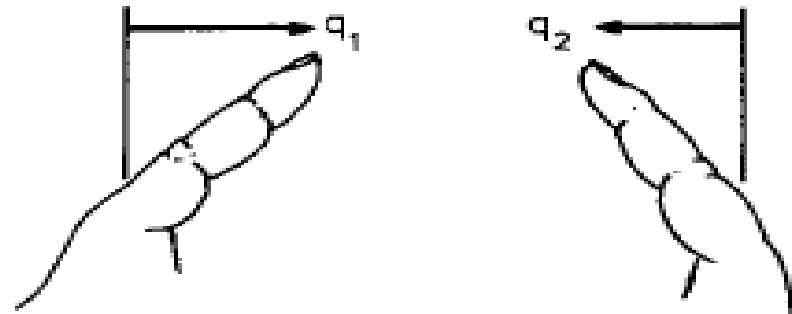
- Komplette (In-)Stabilitätsanalyse möglich (mit Ergebnissen in Übereinstimmung mit den Experimenten)

(aus: Haken: Information & Self-Organization (3.A.2006))

SYNERGETIK: phänomenologischer Ansatz

- Systemverhalten unmittelbar beobachtbar
 - Alter Zustand/ während Instabilität/ neuer Zustand
- Ordnungsparameter(gleichung(en)) ,ablesbar‘
- Beispiel: Kelso-Experiment

- Bei geringer Frequenz:
Bistabilität
(parallel & anti-parallel)
- Bei hoher Frequenz:
nur anti-parallel stabil
(beide Finger: gleiche Bewegung)



Periodische Bewegung:
Winkelfunktionen ,drängen sich auf‘

$$q_1 = r_1 \cos(\omega t + \phi_1)$$

$$q_2 = r_2 \cos(\omega t + \phi_2)$$

SYNERGETIK: konzeptioneller Ansatz

- Konzepte der Synergetik als Bezugsrahmen zum Verstehen nicht-quantifizierbarer ‚Dinge‘/ ‚Prozesse‘
- Beispiel: Sprache
 - System: ‚Sprache‘ – Subsystem: ‚Sprecher‘
 - Ordnungsparameter für alle ‚in die Sprache Hinein--geborenen‘ (‚Versklavung‘ durch die ‚Muttersprache‘)
 - Jeder Sprecher sichert ihr Überleben (zirkuläre Kausalität)
 - Sprachgebrauch verändert sich (Fluktuationen) – bis hin zu ‚neuem Gebrauch‘ von Wörtern (‚Gewinnermode‘ in einem Wettbewerb) oder ‚Neuschöpfung‘ von Wörtern, die sich durchsetzen (neue stationäre Zustände)

Zus.fassg.: Ansätze der Synergetik

- Bottom up („Struktur-/ Musterbildung“):
Mikro- (bzw. Meso-)Ebene -> Makro-Ebene
 - Langevin-Gl./ Mastergleichung/ Fokker-Planck-Gl.
 - > Instabilitätspunkte/ Versklavung/ Ordnungsparameter
 - bzw. Mastergleichung (stoch.) -> Mittelwertgleichungen
- Top down („Mustererkennung“):
Makro-Ebene -> Mikro-/ Meso-Ebene
 - (1.-4.) Momente/ (Kreuz-)Korrelationen -> Fokker-Pl.-Gl.
- Phänomenologisch:
Phänomene synergetisch interpretieren (z.B. Kelso-Experiment)
- Konzeptionell:
Konzepte anwenden auf Nicht-Quantifizierbares (z.B. Sprache)

Synergetik: ‚Haken-Linie‘ & ‚Weidlich-Linie‘

Table 13.1. A comparison between two lines of research developed within synergetics: the pattern recognition approach and the master equation approach

	The Pattern Formation → Pattern Recognition Approach	The Master Equation Approach
Stage I: Deterministic and stochastic processes	Evolution equations for state variables	Evolution equations for probability distributions
Stage II: A verge over fluctuations	Deterministic evolution equations	
Outcome	<i>Explicit</i> consideration of order parameter(s), slaving principle, circular causality, etc.	<i>Implicit</i> consideration of order parameter(s), slaving principle, circular causality, etc.
Fundament interest	Phase transition, qualitative change	
first applied to	Physics, chemistry, biology	Sociology as “sociodynamics”
More recent applications	Computers, cognition, brain functioning and very recently cities and urbanism	Cities, urban and regional systems, trafic systems

Alternative Ansätze zur Synergetik

- Dissipative Strukturen (Prigogine, Nicolis, Glansdorf)
 - Irreversible Thermodynamik (= nah am Gleichgewicht, d.h. mit lokalem thermischen Gleichgewicht)
 - Dissipation (Umwandlung von Energie in Wärme, d.h. Exergie in Anergie) ist - via Fluktuationen - ‚Treiber‘ zur Strukturbildung (,order through (the amplification of appropriate) fluctuations‘)
 - [Synergetik: Flukt.: ‚Zünglein an der Waage‘ bei determinist. Vorgängen]
- Katastrophentheorie (Thom)
 - Mathematische Klassifikation von Singularitäten
 - Rein deterministisch (für Thom gibt es keine Fluktuationen)
- Zelluläre Automaten (von Neumann)
 - Informatik, Computermode
 - Räumlich & zeitlich diskret
 - auch selbstreproduzierend
 - > ABM agentenbasierte Modelle

•

- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !
- Fragen, Anmerkungen ... ?